IRAQI Academic Scientific Journals
Al-Rafidain Engineering Journal (AREJ)
Vol.24, No2, December 2019, pp. 56-64
ISSN (Print) 1813-0526;
ISSN(Online)2220-1270

تحليل عددي لتأثير جسيمات النانو في جريان المائع وانتقال الحرارة بالحمل القسري في مجرى يحوي مقاطع مثلثة مختلفة

***عمار احمد محمود**
*eng.ammar.salo@gmail.com
**** د.امير سلطان داؤد**
**ameer@umosul.edu.iq
*،** قسم الهندسة الميكانيكية- كلية الهندسة- جامعة الموصل

استلم : 2019-5-15 قبل: 2019-10-23

الخلاصة

تناول هذا البحث تحليل عددي لمحاكاة ثلاثية الابعاد لانتقال الحرارة وجريان المائع بالحمل القسريفي قناة ذات مقطع مربع تحوي على اضلاع مختلفة الاشكال وتأثير اضافة الجسيمات النانوية. لتدفق حراري ثابت اعلى القناة واسفلها, وقد افترضت الدراسة أن المائع النانوي يخضع لفرضية احادي الطور إذ يعامل المائع الأساس (الماء) وجسيمات النانو (Al_2O_3) بوصفه خليطاً متجانساً وأن المائع النانوي غير قابل للانضغاط وجريانه مستقر وطباقي, وكانت جسيمات النانو المستخدمة بقطر 25 نانومتر بنسب تركيز حجمي (1-5)%. أُستخدم برنامج (ANSYS 18.1 FLUENT) الذي هو احد برامج ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وبأستخدام طريقة الحجم المحدد (finite volume method) لحل المعادلات الحاكمة. وقد دُرس في هذا البحث تأثير استخدام الأضلاع المختلفة وتراكيز جسيمات نانوية مختلفة في أنتقال الحرارة وجريان المائع. باستخدام أضلاع (Ribs) اعلى القناة واسفلها بترتيبين متتاليين ومتعاقبين, وبعدد خمس أضلاع لكل سطح وبشكلين كال (المثلث نوع A والمثلث نوع B) وكانت قيمة نسبة العرض للارتفاع للاضلاع (aspect ratio) (2). عند خمس قيم مختلفة لأعداد رينولدز (300, 500, 700, 900 و 1200).بينت النتائج أن الاضلع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب تمثل كأفضل حالة من بين الاشكال التي دُرست ولاعداد رينولدز جميعها. إذ كانت اعلى قيمة لمعيار الاداء تم تحقيقها (1.8561) باستخدام المائع النانوي بتركيز 5% , مقارنة بـ (1.5991) للقناة نفسها وبأستخدام الماء فحسب، وعند عدد رينولدز 1200. وعند تركيز حجمي 5 % كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (29.78%) وهي اكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%) عند أستخدام المائع النانوي فحسب , اما عند اضافة الاضلاع المثلثة نوع (a) ذات الترتيب المتناوب وعند تركيز حجمي 5 % كانت نسبة الزيادة في معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (143.03%). فضلاً عن ذلك عوامل أخرى مثل التشتت والحركة البراونية والترحيل الحراري ومولد الدوامات وهجرة الجسيمات النانوية التي تكون مسؤولة أيضًا عن تعزيز نقل الحرارة.

الكلمات المفتاحية:

الكلمات الرئيسية : المائع النانوي , الحمل القسري , الاضلاع ، الجريان الطباقي.

https://rengj.mosuljournals.com
Email: alrafidain_engjournal1@umosul.edu.iq

==========

المُقدمة:

تُعد أزمة الطاقة من أهم المشاكلات التي يواجهها العالم، للزيادة الكبيرة والمُستمرة في مُعدلات إستهلاكها والنقص المُتزايد في موارد الطاقة التقليدية وأرتفاع أسعارها، لِذا عمِد الباحِثون باتجاه زيادة كفاءة منظومات التبادُل الحراري وتقليل حجمها لتقليل مُعدلات إستهلاكها للطاقة. اوجدت الأعتبارات الإقتصادية في الموارد والطاقة حافِزاً لتوسيع الجُهود في إنتاج مُبادلات حرارية أكثر كفاءة أضافة إلى ذلك فأن حجم المُبادل الحراري ووزنه في بعض التطبيقات المُستخدمة في الفضاء والطيران يُعد من المُتغيرات المُهمة التي يجب أن يُهتم بِدراستها. عادةً ما يتعلق التحسين بزيادة مُعامل إنتقال الحرارة على أحد جانبي المُبادل الحراري أو كِليهُما. ويُعد السطح المُحسن، على سبيل المثال، أحدى المُعالجات الفيزيائية لزيادة الاضطِراب، ومن ثُم سيؤدي إلى معامل إنتقال حرارة أعلى من السطح العادي [1]. في العموم فان طرائق تحسين إنتقال الحرارة يمكن أن تُقسم إلى ثلاث اقسام هي: **الطرائق الفعالة (Active Methods)** ، **الطرائق الذاتية (Passive Methods)** و**الطرائق المركبة (Compound Methods)** التي هي مزيج

من الاولى والثانية. وتقتصر معظم طرائق تحسين نقل الحرارة على التقييد المتأصل للموصلية الحرارية للسوائل التقليدية[2-9].
قام الباحث [**Gavara**] [10] بأجراء بحث في الحمل الحراري للجريان الطباقي لسائل النانو (الماء والالوميناAL_2O_3) داخل ممر مستقيم يحوي اضلع مسخنة تتوزع بشكل متناظر على الجدار الداخلي وقد درس انتقال الحرارة والجريان لاعداد مختلفة من عدد رينولدز (Re) واحجام جزئيات متناهية الصغر نسب مختلفة للسائل النانوي(Φ). وقد وجد ان معامل الاحتكاك السطحي (frs) يرتفع على طول السطح البيني بين السائل و الجدار الداخلي ويقل فجأة على الأسطح العلوية والسفلية للاضلع المسخنة للتسارع والتباطؤ في سرعة السائل على هذه الاسطح. ويزداد معامل الاحتكاك واعداد نسلت (Nu) بزيادة احجام جزئيات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي. درس الباحثان [**Ahmed and Yusoff**] [11] انتقال الحرارة الطباقي والجريان لثلاثة انواع مختلفة للموائع النانوية (AL_2O_3 , CuO و SiO_2) المعلقة بجلايكولالإيثيلين، في ممر ذي مقطع مثلث يحوي على مجموعة اجنحة على التوالي مولدة للدوامات عند عدد رينولدز(Re) من (100-1200) وعند احجام جزئيات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي (Φ) من %(1-4) وقطر جزئيات نانوية يتراوح من nm(25-85) وقد حصلوا ان ارتفاع اعداد نسلت (Nu) في احجام جزئيات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي و عدد رينولدز (Re) له علاقة في زيادة إنحدار الضغط. وتنخفض اعداد نسلت (Nu) وإنحدار الضغط عند زيادة قطر الجزئيات النانوية. قام الباحثون [**Khdher, Sidik, Mamat and Hamzah**][12] بدراسة عملية وعددية لإنحدار الضغط ومعامل انتقال الحرارة لجريان (Al2O3) والماء بوصفه مائعاً نانوياً بانبوب من النحاس بقطر داخلي mm(14.9) يحتوي على اضلاع على محيطه الداخلي وبابعاد مختلفة. وكان الجريان مضطرباً وعند فيض حراري ثابت w/m^2(5000) وعند قطر جزئيات نانوية nm(13) عند احجام جزئيات متناهية الصغر نسب للسائل النانوي (Φ) من.%(1-3) ووجد الباحثون انه عند زيادة عدد الاضلاع فأن مدى اعداد نسلت (Nu) تتراوح من (92%-621%) ومعامل الاحتكاك (fr) من (25%-241%) مقارنة مع تلك التي تحققت في انبوب من دون اضلاع. قام الباحث [13] [**Manca**]بدراسة عددية لانتقال الحرارة بوساطة الحمل القسري داخل قنوات تحتوي على أضلع (ribbed channels) مع سائل النانو (nanofluids). واستخدم مركب الماء مع جزيئات الالومينا (Al_2O_3) النانوية في قناة ثنائية الأبعاد مع تسليط تدفق حرارة منتظم على الجدران الخارجية للقناة (channel).وقد عُدّت خصائص الماء وجزيئات الألومينا النانوية (nano Al_2O_3)ثابتة مع درجات الحرارة. و استخدمت جزيئات بحجم nm 38 وحجم جزيئات متناهية الصغر نسبي من (0-4)%.وكان جريان السائل مضطرب وتتراوح اعداد رينولدز (Reynolds) بين 20000 إلى 60000.من ناحية أخرى استخدمت أضلع (ribs) مربعة ومستطيلة المقطع بترتيبات مختلفة وبأبعاد و ارتفاعات وخطوات مختلفة.وأشارت النتائج إلى زيادة انتقال الحرارة مع زيادة الحجم النسبي للجزيئات المتناهية الصغر مع زيادة في كمية انحدار الضغط،وكذلك تحسن انتقال الحرارة مع زيادة عدد رينولد (Reynold)وزيادة واضحة في طاقة المضخة. قام الباحث [**Zheng**] وآخرون [14] بمحاكاة عددية ووصف الجريان المضطرب و انتقال الحرارة في مجرى يحتوي اضلع واخاديد لمبادل حراري. تم ترتيب الأضلاع والأخاديد التي تتميزت بتوزيع منفصل وميل بالتناوب على سطح الجدار الداخلي من قسم الاختبار. في البدء تم عرض بنية (هيكل) الجريان وتحليلها وخصائص نقل الحرارة. ولتشويش الاضلاع والاخاديد تتولد دوامات متعددة طويلة، والتي تؤثر بشكل كبير على اداء نقل الحرارة, وتمت دراسة عدد من المعلمات الهندسية كعدد الاضلاع والاخاديد، الخطوة وزاوية ميل الاضلاع والاخاديد على التوالي واثارها على نقل الحرارة والجريان. وأظهرت النتائج أن نسبة انتقال الحرارة (Nu/Nuo) هي حوالي 1.58 إلى 2.46، في حين أن نسب معامل الاحتكاك (f/fo) هي حوالي 1.82 إلى 5.03. وأن قيمة معيار تقييم الأداء (PEC) من 1،19 إلى 1،68. فضلاً عن ذلك، يشير تحليل توليد الإنتروبيا إلى أن تأثير الأضلاع والأخاديد هو مفيد جدا للديناميكا الحرارية.

بعد المراجعة الوافية للبحوث والدراسات ولقلة البحوث الذي تلقته دراسة الجريان وانتقال الحرارة عند دمج التأثيران وخاصة عند الجريان الطباقي ودراسة اشكال مختلفة لمساحة سطحية متساوية للأشكال تحقق عدالة المقارنة، ولما لهذا الجريان من اهمية كبيرة في تطوير مبادلات حرارية لها افضل قيمة لمعيار تقييم الأداء (PEC). جاءت فكرة البحث الحالي التي تدرس انتقال الحرارة وطبيعة جريان المائع باالحمل القسري الطباقي لقناة ذات مقطع مربع تحتوي على اضلاع بأشكال مختلفة على سطحها العلوي والسفلي وتأثير اضافة الجسيمات النانوية، ففي الدراسة الحالية دُرس تأثير العاملين (وجود الأضلاع والجسيمات النانوية) وتأثير كل منهما في الآخر في انتقال الحرارة وطبيعة جريان المائع.

المائع النانوي:
ويشير مفهوم المائع النانوي كما صاغه الباحثون في مختبر أرغون الوطني في عام 1995 إلى فئة جديدة من سوائل النقل الحراري الممكن إنشاؤها باضافة جسيمات معدنية نانوية أو غير معدنية في المائع الرئيس [14].

الخصاص الفيزيائية والحرارية للمائع النانوي:

1: الكثافة:-
يمكن ايجاد كثافة المائع النانوي باستخدام معادلة الباحثان [Pack and Cho] [15].

$$\rho_{eff} = \Phi\rho_p + (1-\Phi)\rho_{bf} \quad \text{.....(1)}$$

2: الحرارة النوعية:-
يمكن ايجاد الحرارة النوعية عند ثبوت الضغط للمائع النانوي باستخدام معادلة الباحث [Khanafar] [16].

$$cp_{eff} = \frac{(1-\Phi)(\rho cp)_{bf} + \Phi(\rho cp)_p}{(1-\Phi)\rho_{bf} + \Phi\rho_p} \dots\dots(2)$$

3: اللزوجة الديناميكية:-
طور الباحث [Corcione] [17] علاقة تجريبية لحساب اللزوجة الديناميكية للمائع النانوي على اساس عدد كبير من البيانات التجريبية لعدد من الابحاث كما يتضح في ادناه

$$\frac{\mu_{eff}}{\mu_{bf}} = \frac{1}{1 - 34.87(\frac{d_p}{d_{bf}})^{-0.3}\Phi^{1.03}} \dots\dots\dots(3)$$

$$d_{bf} = 0.1\,(\frac{6M}{N\,\pi\,\rho_{bf0}})^{1/3} \dots\dots\dots(4)$$

4: الموصلية الحرارية:-

[17] علاقة تجريبية لحساب [Corcione]طور الباحث الموصلية الحرارية للمائع النانوي على اساس عدد كبير من البيانات التجريبية لعدد من الابحاث كما يتضح في ادناه

$$\frac{k_{eff}}{k_{bf}} = 1 + 4.4\,Re^{0.4}Pr^{0.66}\left(\frac{T}{T_{fr}}\right)^{10}\left(\frac{k_p}{k_{bf}}\right)^{0.03}\Phi^{0.66} \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho_{bf}\,u_B\,d_p}{\mu_{bf}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

$$\tau_D = \frac{{d_p}^2}{6D} = \frac{\pi\,\mu_{bf}\,{d_p}^3}{2k_bT} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

$$u_B = \frac{2k_bT}{\pi\,\mu_{bf}\,{d_p}^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (8)$$

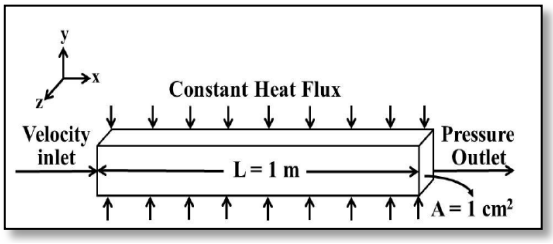
$$Re = \frac{2\,\rho_{bf}\,k_bT}{\pi\,\mu_{bf}\,^2 d_p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (9)$$

ديناميك الموائع الحابية (CFD):

أُستخدم برنامج انسزز فلونت (ANSYS 18.1 FLUENT) هو احد برامج ديناميكا الموائع الحسابية (CFD) وتم اختيار طريقة الحجم المحدد (finite volume method) لحل المعادلات الحاكمة. أن الأجراءات العددية لبرنامج (ANSYS 18.1) تقسم إلى خمسة أجزاء وهي: اولاً رسم الشكل الهندسي للحيز المختبر بالابعاد الحقيقية وتحديد اتجاه التدفق. ثانياً توزيع شبكة النقاط على أجزاء الحيز المرسوم جميعها إذ يجب اختيار امثل توزيع للنقاط وفي هذه المرحلة يتم أجراء اختبار الشبكة الامثل (Grid Independent Test). ثالثاً ضبط وأختيار المعادلات الحاكمة إذ يحوي البرنامج على معادلات تغطي اغلب انواع الجريان وانتقال الحرارة. وتحديد نوع المائع المستخدم والمعدن وأدخال الشروط الحدية للحيز المدروس وأختيار طريقة الحل إذ تم اختيار خوارزمية (Coupled algorithm) من طرائق الحل لربط الضغط والسرع خلال الحل العددي. مع الاخذ بنظر الاعتبار أن تعتبر المحاكاة متقاربة عندما تكون ناتج كل المعادلات اقل من (10^{-6}). رابعاً تنفيذ الحل. خامساً النتائج. ولمعلومات اكثر عن خوارزميات الحل المستخدمة في برنامج (ANSYS 18.1 FLUENT) يمكن الاطلاع عليها بالمصادر [18].

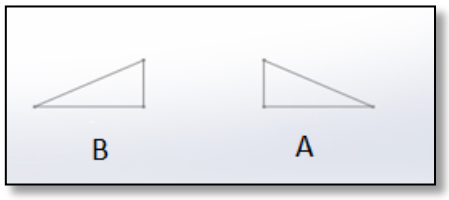
تمثيل الشكل الهندسي للمسألة :

يُمثل النموذج المختار في هذه الدراسة نموذج الباحث [**Heris**] [19] إذ تم تصميم وبناء هذا النموذج لدراسة انتقال الحرارة للجريان الطباقي للمائع النانوي. النموذج هو قناة ذات مقطع مربع مساحته 1 سم^2 ومصنع من صفائح النحاس بسمك 0.4 ملم بطول 1 متر. إذ يمكن أن يُعد نموذجاً مقترحاً لمبادل حراري. كما يتضح بالشكل (1)



الشكل (1) يوضح النموذج الهندسي المستخدم للدراسة الباحث [19] [**Heris**]

تم وضع الاضلاع (Ribs) اعلى القناة واسفلها وبترتيبين متتاليين ومتعاقبين, بعدد خمس اضلاع لكل سطح, وبشكلين (المثلث نوع A والمثلث نوع B).



الشكل (2) يوضح نموذج الاضلاع المستخدم للدراسة مثلث نوع A و مثلث نوع B

الفرضيات :

لتسهيل دراسة اية مسألة لابد من وضع فرضيات لحل المعادلات والخروج بنتائج منطقية ومرضية وللحصول على المعادلات الحاكمة افترضت الفرضيات الاتية:

1- يخضع المائع النانويلفرضية احادي الطور (single-phase approach) إذ يعامل المائع الأساس (الماء) وجسيمات النانو (Al_2O_3) بوصفها خليطاً متجانساً (Homogenous mixture).
2- المائع النانوي نيوتني (Newtonian fluid) وغير قابل للانضغاط وجريانه مستقر وطباقي.
3- تُعد الحالة المدروسة في حالة استقرار حراري (steady-state) إذ لايوجد تغير مع الزمن.
4- الجداران الجانبيان معزولان حراريا (adiabatic).
5- جسيمات النانو المستخدمة بقطر 25 نانومتر وبنسب تركيز حجمي (1-5)%
6- تُحسب الموصلية الحرارية والحرارة النوعية واللزوجة والكثافة للمائع النانوي عند درجة حرارة الدخول وعند كل نسبة تركيز حجمي.

المعادلات الحاكمة:

أن معادلات (حفظ الكتلة وحفظ الزخم وحفظ الطاقة) هي الأساس لتمثيل المسائل النظرية وحلها جميعاً في مجال ميكانيكا الموائع وأنتقال الحرارة بالاعتماد على الفرضيات التي ذكرت سابقا لذا تكون المعادلات الحاكمة على وفق ما يأتي :

معادلة حفظ الكتلة :-

$$\frac{d\rho}{dt} + \rho_{eff}\vec{\nabla}\cdot\vec{V} = 0 \quad \ldots\ldots (10)$$

وتكون الكثافة للسوائل غير مضغوطة ثابتة وتساوي مشتقة الكثافة صفراً

$$\nabla\cdot\vec{V} = 0 \quad \ldots\ldots (11)$$

معادلات الزخم :

$$\rho_{eff}\frac{d\vec{V}}{dT} = \rho_{eff}\vec{F} - \nabla P + \mu_{eff}\nabla^2\vec{V} \quad \ldots (12)$$

معادلة الطاقة energy equation :

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\mu_{eff}}{\rho_{eff}Cp_{eff}}\phi + \alpha\left(\frac{\partial^2 T}{x^2} + \partial 2Ty2 + \partial 2Tz2 \ldots\ldots\right) \quad (13)$$

المقاومة الحرارية(Θ):

حُسب أداء انتقال الحرارة بوساطة المقاومة الحرارية

$$\theta = \frac{T_{ave} - T_{in}}{As.q} \quad \ldots\ldots (14)$$

إذ أن T_{ave} هي معدل درجة حرارة القاعدة، T_{in} هي درجة حرارة دخول المائع و q هي كمية تدفق الحرارة عند القاعدة.

معيار تقييم الأداء (PEC)(performance evaluation criteria):

حُسب التحسن في انتقال الحرارة التي تولده مولدات الدوامات (VGs) بمعيار تقييم الأداء

$$f = 2\,\Delta p\,\frac{D}{L}\frac{1}{\rho_{eff}U_{ave}^2} \quad \ldots\ldots (15)$$

$$PEC = \frac{(Nu_{ave}/Nu_{ave,s})}{(f/f_s)^{\frac{1}{3}}} \quad \ldots\ldots (16)$$

إذ أن f_s و Nu_sترمز للمقادير في حالة عدم وجود مولدات الدوامات والمائع النانوي

الشروط الحدية:-

لابد من توفر هذه الشروط لحل اية معادلة تفاضلية , ولكنه يجب ان تكون متلائمة مع المعادلات الحاكمة والفرضيات.

1- منطقة الدخول (velocity inlet) : تم اختيار درجة حرارة دخول المائع النانوي 300 K وسرعة تدفق المائع النانوي عند الدخول بالاعتماد على عدد رينولدز (Re). وان (u=U, v=w=0 and $T=T_i=300K$).

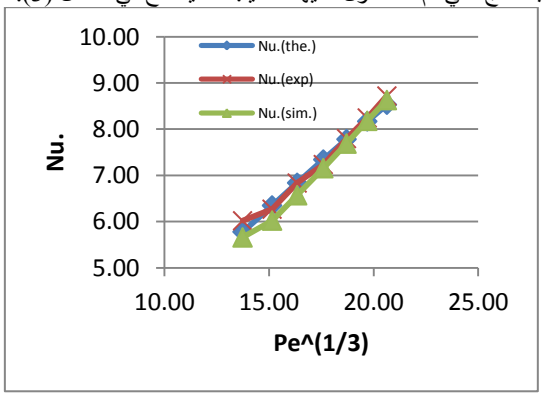
2- منطقة الخروج (pressure outlet) : تم فرض ضغط المائع النانوي عند خروج مساويا للصفر والجريان مكتملاً للنمو ($\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial x} = \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial t}{\partial x} = 0$)

3- السطح السفلي والعلوي : جريان المائع النانوي عند الجدار من دون انزلاق (no-slip) (u=v=w=0), و تدفق حراري ثابت (constant heat flux) اعلى القناة واسفلها مقداره 740 واط اي 37000 واط/متر^2 كما في تجربة الباحث (Heris).

4- السطحان الجانبيان : تُعد الظروف المحيطية التي على جانبي القناة معزولة حرارياً (adiabatic).

التحقق من صلاحية ديناميك الموائع الحسابية :-

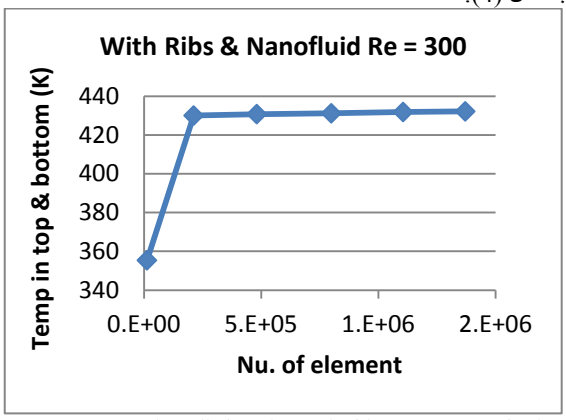
تمت مُقارنة النتائج الحالية مع النتائج السابقة بالإعتماد على قيمة عدد نسلت (Nu) وعدد بيكلت (Pe) التي تم الحصول عليها عمليا ونظرياً من قبل الباحث [Heris] [19] وكانت النتائج المستحصلة من برنامج (ANSYS 18.1) مُقاربة لنتائج بحث الباحث إذ كان معدل الأختلاف 4% نظريا و 6% عملياً مقارنة بالنتائج التي تم الحصول عليها عددياً. كما يتضح في الشكل (3).



الشكل (3) يوضح النتائج العددية الحالية مع النتائج العملية والنظرية للباحث [Heris] [19]

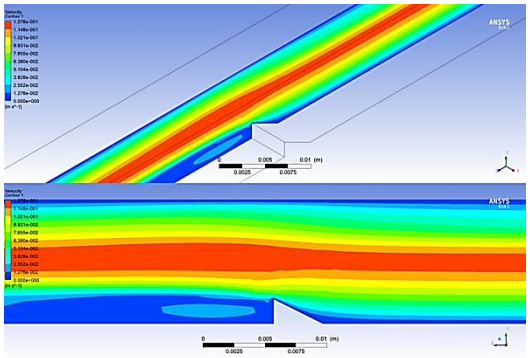
<u>قناة مربعة بوجود اضلع مثلثة نوع (a) متناوبة (Staggered):</u>

تم اجراءتحليل الشبكة المستقل (Grid Independent Test) قبل الشروع بأخذ القراءات العددية إذ تم تقسيم القناة إلى ست قيم تمثل عدد العناصر على وفق ما يأتي (12475) عنصراً، (211887)، (481151)، (799140)، (1105566) و (1370592). وعند أقل قيمة مختبرة لعدد رينولدز (Re) مقدارها 300. تم أختيار عدد العناصر (1105566) إذ اصبحت النتائج مستقرة ومتقاربة وكانت نسبة الفارق بين اخر قراءتين لدرجة الحرارة (0.074%) لأقل قيمة لعدد رينولدز، كما يتضح بالشكل (4).

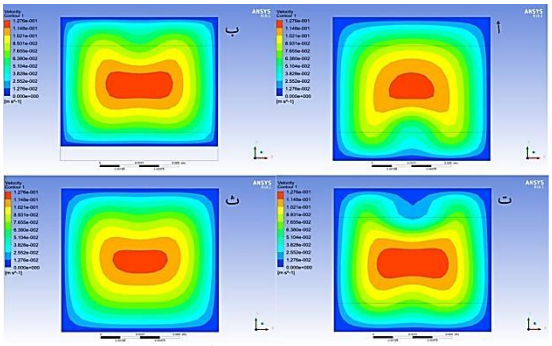


الشكل (4) يوضح تحليل الشبكة المستقل للقناة المربعة بوجود أضلاع مثلثة نوع (a) متناوبة عند (Re.=300)

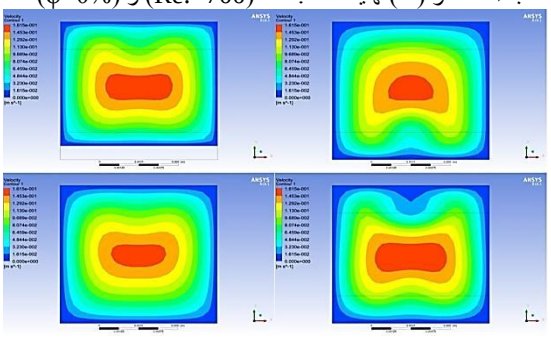
يوضح الشكالان (5) و (6) ملامح السرعة ودرجات الحرارة على التوالي في منتصف القناة في حين توضح الاشكال (7) , (8)، (9) و (10) ملامح السرعة ودرجات الحرارة على التوالي لمناطق متفرقة من القناة، عند (Re.=700) عند (φ=0%) و (φ=3%). وتوضح الاشكال (11) , (12) , (13) , (14) , (15) و (16) إنحدار الضغط (ΔP) ومعامل الاحتكاك (fr) و معامل انتقال الحرارة (h) على طول القناة , عند (Re.=700) عند (φ=0%) و (φ=3%). الخط الأحمر احداثياته نقطة البداية (0,0.01,0.005) ونقطة النهاية (1,0.01,0.005) اما الخطوط البيضاء فتمثل القيم على كامل سطح القناة.



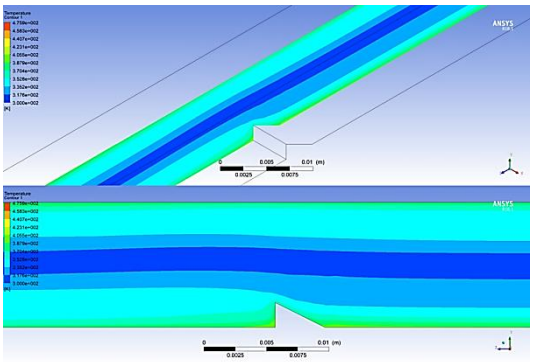
الشكل (5) منظور ثنائي الأبعاد لملامح السرعة داخل القناة عند (Re.=700)



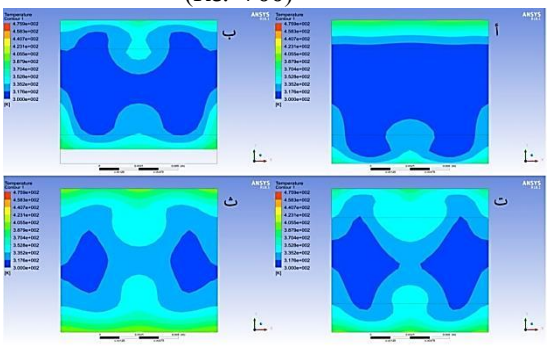
الشكل (7) يوضح ملامح السرعة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند (Re.=700) و (φ=0%)



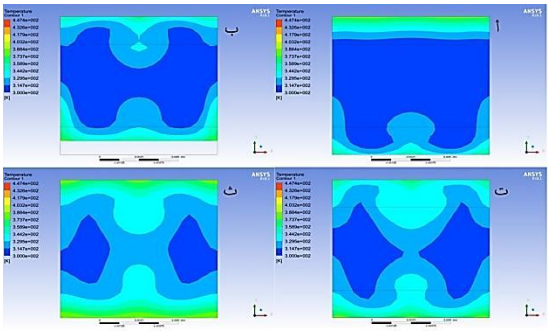
الشكل (9) يوضح ملامح السرعة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند (Re.=700) و (φ=3%)



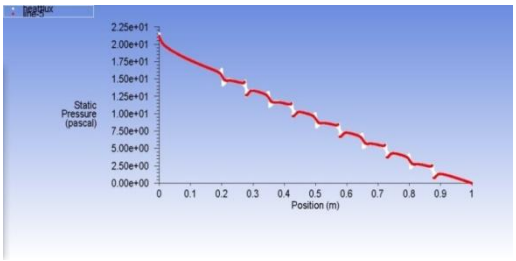
الشكل (6) منظور ثنائي الأبعاد لملامح درجات الحرارة داخل القناة عند (Re.=700)



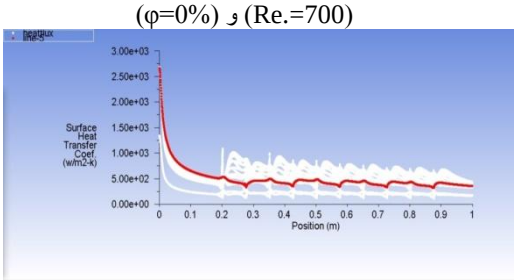
الشكل (8) يوضح ملامح درجات الحرارة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند (Re.=700) و (φ=0%)



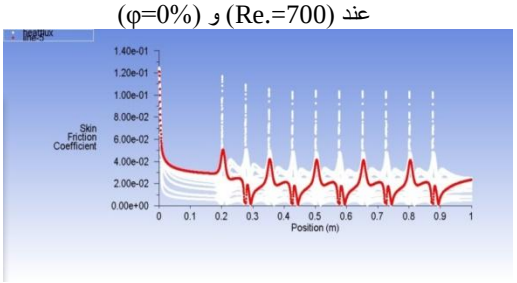
الشكل (10) يوضح ملامح درجات الحرارة عند (أ) مسافة 25 سم من بدء القناة، (ب) مسافة 50 سم من بدء القناة، (ت) مسافة 75 سم من بدء القناة و (ث)نهاية القناة. عند (Re.=700) و (φ=3%)



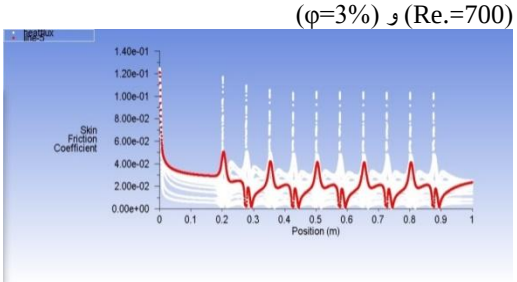
الشكل (11) يوضح إنحدار الضغط (ΔP) على طول القناة. عند (Re.=700) و (φ=0%)



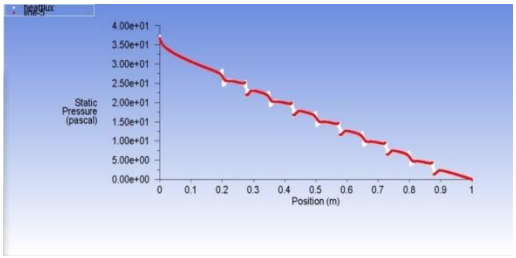
الشكل (13) يوضح معامل انتقال الحرارة (h) على طول القناة. عند (Re.=700) و (φ=0%)



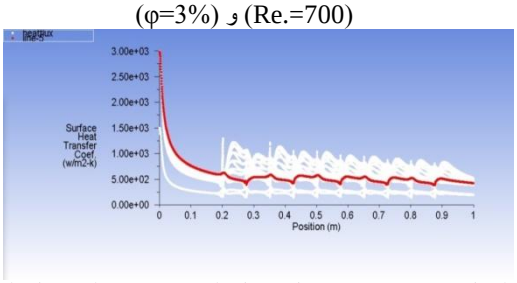
الشكل (15) يوضح معامل الاحتكاك (fr) على طول القناة. عند (Re.=700) و (φ=3%)



الشكل (12) يوضح معامل الاحتكاك (fr) على طول القناة. عند (Re.=700) و (φ=0%)



الشكل (14) يوضح إنحدار الضغط (ΔP) على طول القناة. عند (Re.=700) و (φ=3%)



الشكل (16) يوضح معامل انتقال الحرارة (h) على طول القناة. عند (Re.=700) و (φ=3%)

مقارنة النتائج للحالات المدروسة والاستنتاج

الإنحدار بالضغط :-

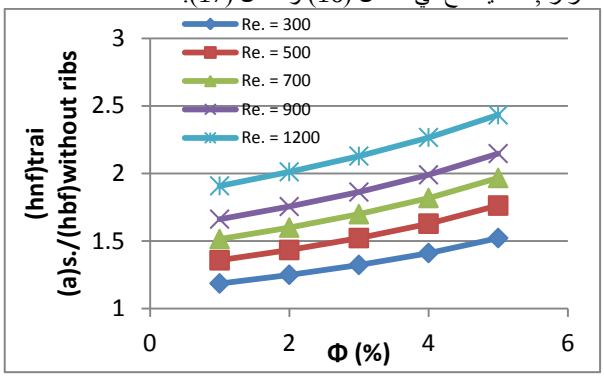
يُعد إنحدار الضغط مُعلمة مهمة جدا في دراسة جريان المائع وانتقال الحرارة في الجريان الطباقي (الصفائحي) مما له من علاقة بقدرة وسعة المضخة, وتأثيره على قيمة معامل الاداء (PEC). ان اعلى إنحدار للضغط كان للمثلث نوع (B) ثم للمثلث نوع (A) على التوالي وبالترتيب المتتالي, ثم للمثلث نوع (B) ثم للمثلث نوع (A) على التوالي للترتيب المتعاقب عند نسبة تركيز حجمي (0)% (3)% و (5)% على التوالي. وان الترتيب المتعاقب اعطى اقل قيمة لإنحدار الضغط مقارنة للترتيب المتتالي, و ان الافضل من ناحية إنحدار الضغط كان للمثلث نوع (A) للترتيب المتعاقب وان اسوء حالة كانت للمثلث نوع (B) للترتيب المتتالي, ويرجع ذلك الى ان حالة المثلث نوع (B) للترتيب المتتالي تولد دوامات داخلية التي تؤدي الى زيادة الإنحدار بالضغط, إذ تميز بتوليد دوامات تحتاج الى فرق ضغط عالي لكي تتكون. ويلحظ ان إنحدار الضغط يزداد بزيادة تركيز المائع النانوي بسبب زيادة اللزوجة للمائع النانوي.

المقاومة الحرارية :-

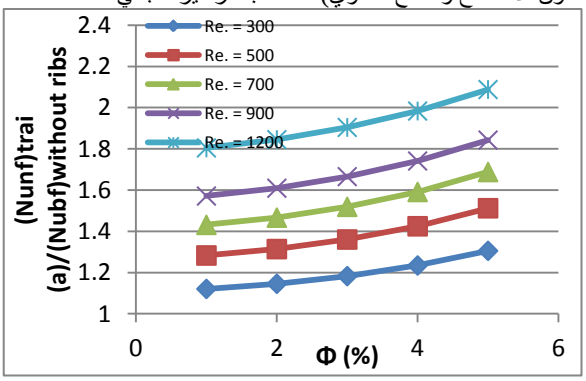
ان افضل حالة كانت للاضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب عند السرع البطئية وللاضلاع المثلثة نوع (B) ذات الترتيب المتتالي عند السرع العالية, واعطت الأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتتالي استقراراً عند اعداد رينولدز جميعها بفارق قليل عن افضل حالة للمقاومة الحرارية للحالتين السابقتين الذكر على الرغم من احتوائها على حيز ميت الا ان الدوامات التي تكونت حالت من دون ارتفاع درجة الحرارة في تلك المناطق. ويلحظ ان اضافة الجسيمات النانوية حسن من المقاومة الحرارية ويزداد التحسين بزيادة تركيز المادة النانوية.

معامل انتقال الحرارة :-

ان افضل حالة كانت للاضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب عند السرع البطئية وللاضلاع المثلثة نوع (B) ذات الترتيب المتتالي عند السرع العالية, واعطت الأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتتالي استقراراً عند اعداد رينولدز جميعها ما عدا (Re=1200) بفارق قليل عن افضل حالة للمقاومة الحرارية للحالتين السابقتين الذكر على الرغم من احتوائها على حيز ميت الا ان الدوامات التي تكونت حالت من دون ارتفاع درجة الحرارة في تلك المناطق. ويلاحظ ان اضافة الجسيمات النانوية حسن من المقاومة الحرارية ويزداد التحسين بزيادة تركيز المادة النانوية. وتؤدي زيادة تركيز حجم الجسيمات إلى زيادة في معامل انتقال الحرارة وبالتالي زيادة في عدد نسلت. ويرجع ذلك إلى زيادة في الموصلية الحرارية للسوائل وزيادة في معدل تبادل الطاقة الناتجة عن الحركة غير المنتظمة والفوضوية للجسيمات فائقة الدقة في المائع [20]. فضلاً عن ذلك، يؤثر عدد رينولدز (Re) بشكل كبير على خصائص نقل الحرارة. إذ تؤدي زيادته الى ارتفاع سرعة وتدفق درجة حرارة المائع، مما يؤدي بدورهِ إلى قيمة أعلى لعدد نسلت.عند عدد رينولدز 1200 وعند تركيز حجمي 5 % كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (29.78%) وهي اكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%) عند أستخدام المائع النانوي فحسب, اما عند اضافة الأضلاع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتناوب وعند تركيز حجمي 5 % كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (143.03%) وهي اكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي (16.48%). فضلاً عن ذلك عوامل أخرى مثل التشتت والحركة البراونية والترحيل الحراري ومولد الدوامات وهجرة الجسيمات النانوية قد تكون مسؤولة أيضًا عن تعزيز نقل الحرارة, كما يتضح في الشكل (16) والشكل (17).



الشكل (16) يوضحالعلاقةبينعددرينولدزو(نسبة معامل انتقال الحرارة للاضلع المثلثة نوع (A) الى معامل انتقال الحرارة من دون الأضلاع والمائع النانوي) عند نسبة تراكيز حجمي مختلفة



الشكل (17) يوضحالعلاقةبينعددرينولدزو(نسبة عدد نسلت للاضلع المثلثة نوع (A) الى عدد نسلت من دون الأضلاع والمائع النانوي) عند نسبة تراكيز حجمي مختلفة

معامل الاداء (PEC) :-

ان اعلى قيمة لمعامل الاداء كانت للاضلع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب عند اعداد رينولدز جميعها, ويزداد التحسين بزيادة تركيز المادة النانوية.

جريان المائع وتأثره بالجسيمات النانوية والأضلاع أعلى واسفل القناة :-

ان جريان المائع يزداد عند قمم الأضلاع وللتناظر حول المحور الطولي للقناة في حالة الترتيب المتتالي للاضلاع يجري المائع في خطوط مستقيمة وسط القناة, اما في حالة الترتيب المتعاقب للاضلاع ينعدم التناظر حول المحور الطولي مما يجعل المائع يسلك مساراً متموجاً الى حد ما متأثراً بالأضلاع. فضلاً عن ذلك يزداد جريان المائع عند زيادة تركيز الجسيمات النانوية. وتبلغ اعلى قيمة لمعامل الاحتكاك (fr) , ولمعامل انتقال الحرارة (h) في منطقة الدخول (entrance region) وهي منطقة يكون فيها الجريان غير مكتمل حراريا , وتزداد قيمة معامل الاحتكاك (fr) و معامل انتقال الحرارة (h) عند اضافة الجسيمات النانوية وكذلك عند أضافة الأضلاع. ويلحظ أن معامل انتقال الحرارة (h) وعند أول ضلع في منطقة الدخول يسجل أعلى قيمة من ثاني ضلع. ويسجل الترتيب المتناوب للأضلاع أقل قيمة لإنحدار الضغط مقارنة مع الترتيب المتقابل للأضلاع جميعها.

الاستنتاجات :-

ان اهم الاستنتاجات والتوصيات التي تم التوصل اليها في هذه الدراسة التي تلخص محاكاة ثلاثية الابعاد لانتقال الحرارة وجريان المائع بقناة ذات مقطع مربع تحوي على اضلاع مختلفة الاشكال وتأثير اضافة الجسيمات النانوية, وبعد مناقشة الاشكال جميعها الناتجة عن هذه الدراسة تم التوصل الى اهم الاستنتاجات التي تضمنها هذا البحث على وفق ما يأتي :

1- تُمثل الاضلع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب افضل حالة من بين الاشكال التي دُرست ولجميع اعداد رينولدز.
2- اظهر الترتيب المتعاقب للاضلاع اقل مستوى لإنحدار الضغط مقارنة مع الترتيب المتتالي ولجميع الاشكال.
3- يزداد إنحدار الضغط وتقل المقاومة الحرارية ويزداد معامل انتقال الحرارة ويزداد معامل الاداء كلما زاد عدد رينولدز.
4- يؤثر تغيير عدد رينولدز في كمية الحرارة المنتقلة من سطح القناة الى المائع في منطقة الدخول (entrance region) وهي منطقة يكون فيها الجريان غير مكتمل حراريا وسبب ذلك أن سمك الطبقة المتاخمة اقل ما يمكن في منطقة الدخول, إذ لُحظ ان اعلى قيمة لعدد نسلت تكون في منطقة الدخول للقناة, ويكون الجريان في المناطق البعيدة مكتمل حراريا لذا تبقى قيمة نسلت فيها ثابتة, وادى استخدام الأضلاع والجسيمات النانوية الى زيادة عدد نسلت في جميع هذه المناطق.
5- كانت اعلى قيمة لمعيار الاداء تم تحقيقها باستخدام الاضلع المثلثة نوع (A) ذات الترتيب المتعاقب (1.8561) باستخدام المائع النانوي بتركيز 5% , مقارنة (1.5991) للقناة نفسها باستخدام الماء فحسب.
6- هناك ارتفاع في إنحدار الضغط عند استخدام المائع النانوي إذ لم يتم استخدام المعادلات الكلاسيكية وتم استخدام معادلات حديثة تعطي نتائج قريبة من النتائج المختبرية إذ يعود سبب ارتفاع إنحدار الضغط الى ارتفاع قيمة اللزوجة للمائع النانوي ولكن هذا الارتفاع يقابله ارتفاع في معامل انتقال الحرارة.
7- عند عدد رينولدز 1200 وعند تركيز حجمي 5 % كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (29.78%) وهي اكثر من زيادة الموصلية الحرارية التي تساوي(16.48%) عند استخدام المائع النانوي فحسب, اما عند اضافة الأضلاع المثلثة نوع (a) ذات الترتيب المتناوب وعند تركيز حجمي 5 % كانت زيادة معامل انتقال الحرارة (h) تساوي (143.03%). فضلاً عن ذلك عوامل أخرى مثل التشتت والحركة البراونية والترحيل الحراري ومولد الدوامات وهجرة الجسيمات النانوية التي تكون مسؤولة أيضًا عن تعزيز نقل الحرارة.
8- أدت اضافة الأضلاع والجسيمات النانوية الى زيادة عدد نسلت ومن ثم الى تحسين انتقال الحرارة.

المصادر

1. Reay, D.A., Heat transfer enhancement – a review of techniques and their possible impact on energy efficiency in the UK. Heat Recovery Syst. CHP 11 (1), 1–40. 1991.
2. Bergles, A.E., 1999. Enhanced heat transfer: endless frontier, or mature and routine. Paper C565/082/99. Proceedings of the UK National Heat Transfer Conference, Heriot-Watt University. IMechE, Bury St Edmunds, September.
3. M.R. Salem, R.K. Ali, R.Y. Sakr and K.M. Elshazly, "Experimental Study on Convective Heat Transfer and Pressure Drop of Water-Based Nanofluid Inside Shell and Coil Heat Exchanger,,", PhD Dissertation, Faculty of Engineering at Shoubra, Benha University, Cairo, Egypt, June 2014, DOI: 10.13140/RG.2.2.31958.75846
4. H.I. Abu-Mulaweh, "Experimental Comparison Between Heat Transfer Enhancement Methods in Heat Exchangers", The International Journal of Mechanical Engineering Education, vol. 31(2), pp. 160–167, 2003.
5. F.C. EuanSomerscales and Arthur E. Bergles "Enhancement of Heat Transfer and Fouling Mitigation", Advances in Heat Transfer, vol. 30, pp. 197–253, 1997.
6. A.E. Bergles, "Techniques to Enhance Heat Transfer", in Handbook of Heat Transfer, 3rd ed., W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho, Eds., McGraw-Hill, New York, pp. 11.1–11.76, 1998.
7. A. Dewan, P. Mahanta, K. SumithraRaju and P. Suresh Kumar, "Review of Passive Heat Transfer Augmentation Techniques", Proc. Instn Mech. Engrs, Vol. 218, Part A: J. Power and Energy, A04804 © IMechE 2004.
8. A.B. Ganorkar and V.M. Kriplani, "Review of Heat Transfer Enhancement in Different Types of Extended Surfaces", International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), vol. 3(4), pp. 3304–3313, April 2011.

grooved heat exchanger tube based on entropy generation analysis," Applied Thermal Engineering, 2016

15. Pack, B. C., and Cho, Y. I., Hydrodynamic and Heat Transfer Study of Dispersed Fluids with Submicron Metallic Oxide Particles, Experimental Heat Transfer, vol. 11, no. 2, pp. 151–170, 1998.
16. Khanafar, K., Vafai, K., and Lightstone, M., Buoyancy-Driven Heat Transfer Enhancement in a Two-Dimensional Enclosure Utilizing Nanofluids, International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 46, no. 19, pp. 3639–3653, 2003.
17. Corcione, M., Rayleigh–Bénard Convection Heat Transfer in Nanoparticle Suspensions, International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 32, pp. 65–77, 2011.
18. ANSYS® Academic Research Mechanical, Release 18.1, Help System, Coupled Field Analysis Guide, ANSYS, Inc.
19. Heris, S.Z.; Nassan, T.H.; Noie, S.H.; Sardarabadi, H.; Sardarabadi, M. Laminar convective heat transfer of Al2O3/water nanofluid through square cross-sectional duct. Int. J. Heat Fluid Flow 2013, 44, 375–382.
20. Xuan, Y.; Li, Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. Int. J. Heat Fluid Flow 2000, 21, 58–64.
9. A.N. Mahureand and V.M. Kriplani, "Review of Heat Transfer Enhancement Techniques", International Journal of Engineering Research and Technology, ISSN 0974-3154, vol. 5(3), pp. 241–249, 2012.
10. M. Gavara, "Asymmetric forced convection of nanofluids in a channel with symmetrically mounted rib heaters on opposite walls," Numerical Heat Transfer, Part A: Applications: An International Journal of Computation and Methodology 62, 11, 884-904, 2012
11. H. E. Ahmed and M. Z. Yusoff, "Thermal enhancement of triangular duct using compound of vortex generators and nanofluids," Heat Transfer Engineering, 2017
12. A. B. M. Khdher, N. A. C. Sidik, R. Mamat, W. A. W. Hamzah, "Experimental and numerical study of thermo hydraulic performance of circumferentially ribbed tube with Al2O3 nanofluid," International Communication in Heat and Mass Transfer, 69, 34-40, 2015
13. O. Manca, S. Nardini, D. Ricci, "A numerical study of nanofluid forced convection in ribbed channels," Applied Thermal Engineering, 37, 280- 292, 2012
14. N. Zheng, P. Liu, F. Shan, Z. Liu, W. Liu, "Numerical investigations of the thermal-hydraulic performance in a rib-

Numerical Analysis of Effect of Nano-particles on Fluid Flow and Heat Transfer by Forced Convection in Channel with different traingle configuration

Ammar A. Mahmood
M.Sc. student Mech. Eng./Thermal and Fluid
Collage of Engineering – University of Mosul
E-mail : eng.ammar.salo@gmail.com

Dr. Amir S. Dawood
professor
Collage of Engineering -University of Mosul
E-mail : amirsd1954@yahoo.com

Abstract

This research presents a numerical analysis of the three-dimensional simulation of heat transfer and fluid flow incloded forced convection through a square-section channel with different ribs and the effect of addition of nanoparticles with constant heat flux up and down the channel. The single-phase approach of Nano-fluid is employed; it is assumed that the base fluid (water) and nanoparticles (Al_2O_3) are treated as a homogeneous mixture. The study assumes that the Nano-fluid incompressible, steady and laminar. The nanoparticles used in 25 nanometers and with volumetric concentration (1-5) %. ANSYS 18.1 FLUENT is a computational fluid dynamics (CFD) program. The finite volume method was used to solve the ruling equations. To ensure accuracy of the results, the validity was performed with previous studies of the channel and under the same boundary conditions and the result was Compatible. By using ribs at the top and bottom of the channel in two alignment inline and staggered, and five ribs per surface, and in tow shapes (triangle A and triangle B). The aspect ratio is equal to (2). with five different values for Reynolds numbers (300, 500, 700, 900 and 1200). The results showed that triangular ribs type (A) with staggered alignment represent the optimal state of the all studied shapes and at all Reynolds numbers. The maximum value of the performance evaluation criteria (PEC) was 1.8561 and the use of Nano-fluid at a concentration of 5% compared to 1.5991 for the same channel using water only, and at Reynolds number 1200. At 5% volume concentration, the heat transfer coefficient (h) was 29.78% higher than the thermal conductivity increase of 16.48% when using only the Nano-fluid. When adding the triangular ribs type (A), the increase in heat transfer coefficient (h) is equal to (143.03%). Actually, other factors such as dispersion, Brownian motion, hermophoresis, vortex generator, and nanoparticles migration also are responsible for the enhancement of convective heat transfer.

Keywords: nanofluid; convective heat transfer; Ribs; laminar flow